旋幽夜蛾迁飞的雷达观测和虫源分析

张云慧[1]，陈　林[1]，程登发[1,*]，张跃进[2]，姜玉英[2]，蒋金炜[3]

（1. 中国农业科学院植物保护研究所，植物病虫害生物学国家重点实验室，北京　100094；
2. 全国农业技术推广服务中心，北京　100026；3. 河南农业大学植物保护学院，郑州　450002）

摘要：旋幽夜蛾 *Scotogramma trifolii* Rottemberg 是我国北方农牧地区局部暴发为害的农业害虫，近年来危害逐渐呈上升趋势，但目前的研究对其大范围发生危害规律及是否具有迁飞性尚缺乏明确的认识。本文利用垂直监测昆虫雷达和相关辅助设备的长期自动观测和基于 GIS 的地理信息系统分析，研究了 2005 年吉林省白城地区通榆县和大安市旋幽夜蛾暴发的虫源性质及成虫空中飞行参数。结果表明：白城地区 5 月中旬 20 cm 的平均地温并不满足越冬代蛹羽化的最低温度；2005 年 5 月下旬成虫盛发期东北、华北地区空中风场以南风和偏南风居多，为成虫迁入提供了有利的运载气流。6 月下旬雷达观测点卵巢解剖显示，雌蛾卵巢发育进度整齐、级别较低，具有典型的迁出昆虫生理特征。雷达观测显示，成虫飞行最高可达距地面 1 000 m，主要选择在距地面 300 ~ 500 m 高度段，在 500 m 高度可以整夜飞行。初步判定旋幽夜蛾具有迁飞特性，这一发现为进一步认识其发生规律以及提高其预测预报水平提供了科学依据。

关键词：旋幽夜蛾；迁飞；雷达观测；GIS；虫源分析

中图分类号：Q968　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2007)05-0494-07

Radar observation and population analysis on the migration of the clover cutworm, *Scotogramma trifolii* Rottemberg (Lepidoptera: Pyralidae)

ZHANG Yun-Hui[1], CHEN Lin[1], CHENG Deng-Fa[1,*], ZHANG Yue-Jin[2], JIANG Yu-Ying[2], JIANG Jin-Wei[3]

(1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China; 2. National Agro-Technical Extension Service Centre, Beijing 100026, China; 3. College of Plant Protection, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The clover cutworm, *Scotogramma trifolii* Rottemberg is a partially outbreaking pest in farming and stockbreeding areas of northern China. In recent years the pest present uptrend harm to crops. In this paper we reported a long-term monitoring observation of the pest using a vertical-looking radar (VLR) incorporate ancillary equipment and the data analysis by GIS. The results showed that the average soil temperature at 20 cm beneath in the middle ten days of May was lower than the developmental threshold temperature (10.6℃) for eclosion of the hibernated chrysalis. Airflow analysis of the late ten days of May in 2005 showed that south and southwest winds were preponderant in these days, which provided favorable airflow for insect migration. Simultaneous radar observations indicated that the nocturnally migrating clover cutworm generally flew at altitudes of up to 1 000 m above ground level (agl), with high density concentrations at about 300 – 500 m (agl). They could flight throughout the night at 500 m (agl). The ovarian development of the migrating moths showed typical characteristics of migratory insects. Based on these findings, the factors related to outbreak of this pest in Baicheng of Jilin province were discussed.

Key words: *Scotogramma trifolii*; migration; radar observation; GIS; population analysis

---

基金项目："973"国家重点基础研究项目(2006CB102007)；国家科技"十一五"支撑项目(2006BAD08A01)；国家社会公益项目(2004DIB4J155)

作者简介：张云慧，女，1980 年 12 月生，博士研究生，研究方向为雷达昆虫学，E-mail：yhzhang@ippcaas.cn

* **通讯作者** Author for correspondence, E-mail：dfcheng@ippcaas.cn

收稿日期 Received：2006-12-22；**接受日期** Accepted：2007-04-12

旋幽夜蛾 *Scotogramma trifolii* Rottemberg 又名三叶草夜蛾，是间歇性局部发生的杂食性害虫，幼虫具有隐蔽性、暴发性、迁移危害性等特点，以蛹在 10 ~ 20 cm 的土壤中越冬。可危害豌豆、胡麻、甜菜、油菜、小麦、玉米、马铃薯、苹果等 8 科 20 多种作物和田旋花、车前草等 27 种杂草，国内主要分布在新疆、内蒙古、宁夏、甘肃等省区（赵占江等，1992）。建国初期新疆就有旋幽夜蛾危害甜菜的报道（曹慢和吕金海，1963）；1959 和 1972 年在焉耆垦区两度猖獗危害（马自昌和蒙延荣，1983）；1974、1982、1987 年在甘肃武威、金昌等地严重发生，受害面积约 1 万 hm^2（赵占江等，1991，1992）。上世纪 90 年代以来随着棉花种植面积的推广，在新疆各大棉区如喀什、阿克苏、奎屯、石河子、玛纳斯等地均有不同程度的发生，而且日趋严重（于江南等，1997；井双泉等，2001）。上世纪 90 年代初，此虫在内蒙古呼和浩特地区造成很大危害，1994 年呼和浩特市测报部门把此虫列为虫害测报对象（孙治华和赵素珍，1995）。

2005 年 6 月上旬，旋幽夜蛾幼虫在吉林省白城地区通榆县和大安市首次暴发，受害严重地块全田被吃成光秆造成毁种，发生面积 1.1 万 hm^2，其中毁种面积 0.12 万 hm^2（安丽芬和战继春，2005）。由于吉林省历史虫情资料并未有旋幽夜蛾发生为害记载，此次的突然暴发，使当地植保部门对其虫源性质产生了质疑。国内对旋幽夜蛾生物学特性的报道主要集中在旋幽夜蛾各龄期发育、有效积温和卵期耐寒性方面。对虫源性质以及是否具有迁飞性缺乏明确的认识，一旦暴发很难防治。为了弄清旋幽夜蛾的虫源性质及是否具有迁飞习性。本文报道了利用垂直监测昆虫雷达（Smith *et al*.，2000；Chapman *et al*.，2003；张云慧等，2006）和相关设备，于 2005 年 5 月底至 9 月底在吉林省白城地区镇赉县对旋幽夜蛾的雷达观测结果，并分析了成虫的飞行参数及其越冬虫源地，为进一步的害虫治理奠定了基础。

1　材料与方法

1.1　垂直监测昆虫雷达和相关辅助设备

垂直监测昆虫雷达由中国农业科学院植物保护研究所 2004 年与成都锦江电子系统公司合作成功组建，波长 3.2 cm（X 波段）。2005 年 5 月下旬至 9 月下旬雷达观测场安置在吉林省镇赉县（45°51′N，123°12′E），平均海拔 150 m，地处吉林、内蒙和黑龙江的交界处，地势平坦，属于温带大陆性季风气候。为了配合雷达对目标昆虫的辨别，设置了高空探照灯和地面诱虫灯。高空探照灯采用 GT 75 系列投光灯改制而成，内置 1 000 W 的金属卤化物灯泡，地面灯采用佳多 PS-Ⅱ频振式杀虫灯。

1.2　气象数据

采用国家气象数据共享中心提供的 1980 – 2002 的逐日 183 站点地温数据，文中使用的为 20 cm 地温。高空风场数据由美国国家环境预报中心（NCEP，其前身为美国国家气象中心 NMC）和美国国家大气研究中心（NCAR）提供的再分析数据。

1.3　雌蛾卵巢发育级别划分

雌蛾卵巢发育进度分为 5 级。1 级：卵巢小管短而柔软，小管中下部隐约可见透明的卵细胞，脂肪细胞乳白色，饱满；未交配，交配囊瘪。2 级：卵巢小管中下部卵细胞成形，脂肪细胞乳白色饱满；大部分未交配，交配囊瘪呈粗管状。3 级：卵巢小管长，基部有淡黄色成熟卵，脂肪细胞黄色不饱满。交配囊膨大成囊状，未产卵。4 级：卵巢小管长，基部有淡黄色成熟卵，脂肪细胞很少，大部分丝状，大量产卵。5 级：卵巢小管短，卵巢萎缩，脂肪细胞极少，卵很少。

1.4　研究方法

垂直监测昆虫雷达、高空探照灯和地面诱虫灯，每晚日落开，日出关（雨天除外），垂直监测昆虫雷达可以长期自动实时观测，并把观测结果自动保存到指定的文件夹用以分析目标昆虫的飞行参数。高空探照灯主要诱集空中飞行的昆虫，与诱集近地面昆虫的地面灯进行数量对比，用于区别迁飞和当地种群。每天早上把诱虫灯诱集的旋幽夜蛾，先从形态学上分辨雌雄，计算雌雄性比，随机挑选 80 头做卵巢解剖，记录卵巢发育进度。利用 NCEP 和 NCAR 提供的高空风场数据，经过 GIS 的再分析，采用标准时 12 时（北京时 20 时）925 hPa 压力层面 u 分量、v 分量数据合成风场矢量图，分析越冬代旋幽夜蛾成虫高峰期 2005 年 5 月下旬盛行高空风场。根据 1980 – 2002 年地温资料用地理信息系统做 kriging 插值，分析全国 5 月中旬 20 cm 的平均地温分布，确定旋幽夜蛾越冬代蛹羽化界限（地图来源于中国 1∶25 万基础地理信息数据以及高空数据）。

1.5　数据处理与统计分析

诱虫灯内的虫情数据和雷达采集数据用非实时程序输出后，用 SAS9.13 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 诱虫灯结果

高空探照灯和地面诱虫灯在 6 月底至 7 初和 8 月底至 9 月初共诱集到旋幽夜蛾两次明显的突增突减，高空探照灯比地面诱虫灯高峰期提前 1 ~ 2 天。6 月 28 日旋幽夜蛾突然增多之前，本地田间调查并没有发现大量旋幽夜蛾成虫；7 月 1 日高空探照灯内突破 3 000 头，诱虫百分比在 60% 以上；此后几天都在 1 000 头以上（图 1）。随机选取 80 头雌虫卵巢解剖发现，卵巢发育级别较低，高峰期内连续几天主要集中在 2 级和其他级别差异极显著（图 2），绝大多数没有交配，具有典型的迁出昆虫的生理特征。诱虫高峰期持续了 7 天，7 月 5 日探照灯内逐渐减少，8 月上中旬高空探照灯和地面诱虫灯内基本上没有旋幽夜蛾成虫，直到 8 月下旬到 9 月上旬又出现一次高峰期，此次规模较小。

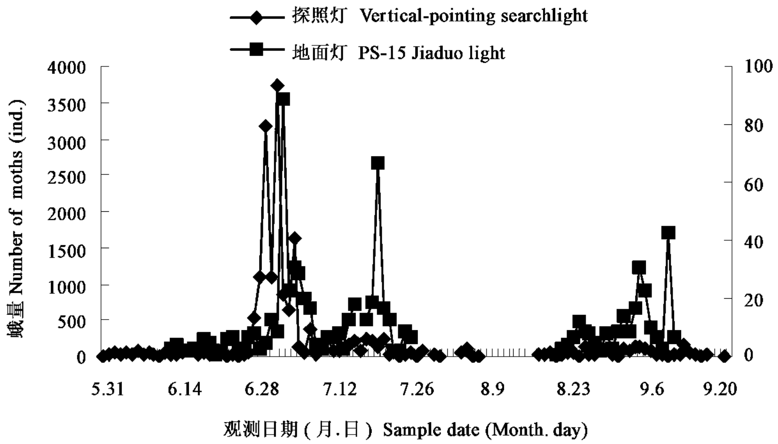

图 1　2005 年雷达观测点诱虫灯下旋幽夜蛾季节性变化

Fig. 1　Seasonal fluctuation of the light trap catches of the clover cutworm in Zhenlai in 2005

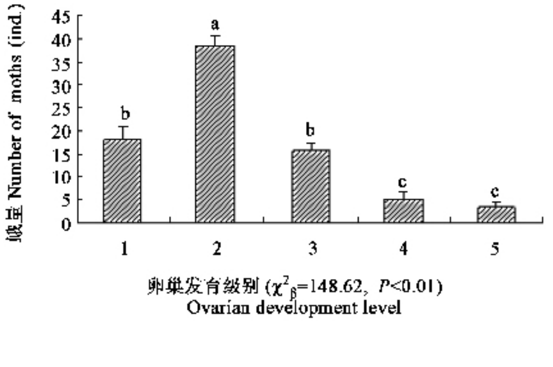

图 2　旋幽夜蛾高峰期内卵巢发育进度

Fig. 2　Ovarian development levels during the peak migration period of the clover cutworm

上图表示为平均数 ± 标准误，每组柱上不同字母为 t 测验比较差异显著（0.05 水平）。Data are presented as mean ± *SE*. Bars with different letters above are significantly different at 5% level by t-test.

2.2 雷达监测结果

2005 年 6 月 28 – 7 月 3 日（峰值出现在 7 月 1 日）和 8 月底至 9 月初，雷达监测到旋幽夜蛾典型的迁飞过程两次。雷达回波点的变化与探照灯内诱集到的旋幽夜蛾数量具有很高的一致性。7 月 1 日日落半小时后，雷达回波点开始明显增加，起初主要集中在 500 m，随着回波点的增多，300 ~ 400 m 高度段也出现回波点明显增多现象。22：00 达到最高峰，雷达回波点高度最高可达 1 000 m。此后其他高度段的回波点逐渐下降，500 m 高度段回波点一直持续到凌晨 4：30 以后才逐渐减少，最后消失。探照灯诱集到的昆虫经鉴定发现，旋幽夜蛾为主要优势种类，诱虫百分比在 60% 以上，其他种类较为分散，没有相对的优势种类。据此判断雷达回波点的目标昆虫主要是旋幽夜蛾，500 m 是主要飞行高度，旋幽夜蛾可以在此高度段整夜飞行（图 3）。

2.3 气象数据分析

2.3.1 2005 年 5 月下旬气流分析：东北地区春季黑龙江下游因地面增温而形成的低压与日本海、黄海一带的高压之间形成气压南高北低的形势，气压梯度加大，使东北地区盛行偏南风，形成东北地区春季多风的天气，特别当气旋通过或在东北生成时，更为显著（李祯等，1993）。根据旋幽夜蛾发生期和各世代历期推测，此次暴发的成虫应出现在 5 月 24 日左右，采用标准时 12 时（北京时 20 时）925 hPa 压力层面 u 分量、v 分量数据，合成连续几天风场矢量图显示：东北、华北主要盛行南风和偏南风，24 日夜间

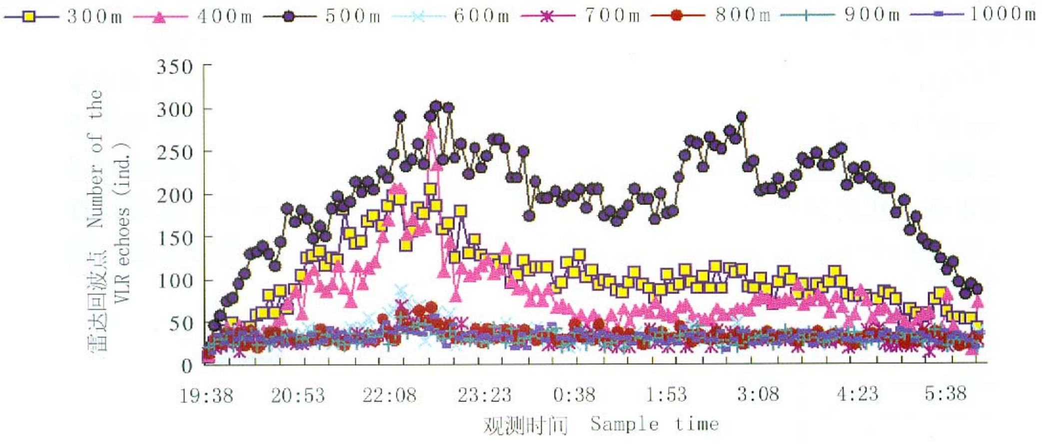

图 3　旋幽夜蛾高峰期内雷达回波数量的时空变化(2005 年 7 月 1 日)

Fig.3　The spatio-temporal changes of the VLR echoes during the peak migration period of the clover cutworm on 1 July，2005

当日探照灯内旋幽夜蛾诱虫百分比为 67.4%。Proportion of clover cutworm among macroinsect was 67.4%.

受内陆低压和海洋高压的影响,华北地区盛行的偏南气流到达东北地区时逐渐偏转为西南气流(图 4),为旋幽夜蛾成虫的迁入提供了高空运载气流。

2.3.2　1980－2002 年 5 月中旬 20 cm 平均地温分析：有研究表明旋幽夜蛾以蛹在 10～20 cm 的土中越冬,蛹期发育起点温度为 11.9±1.3℃(赵占江等,

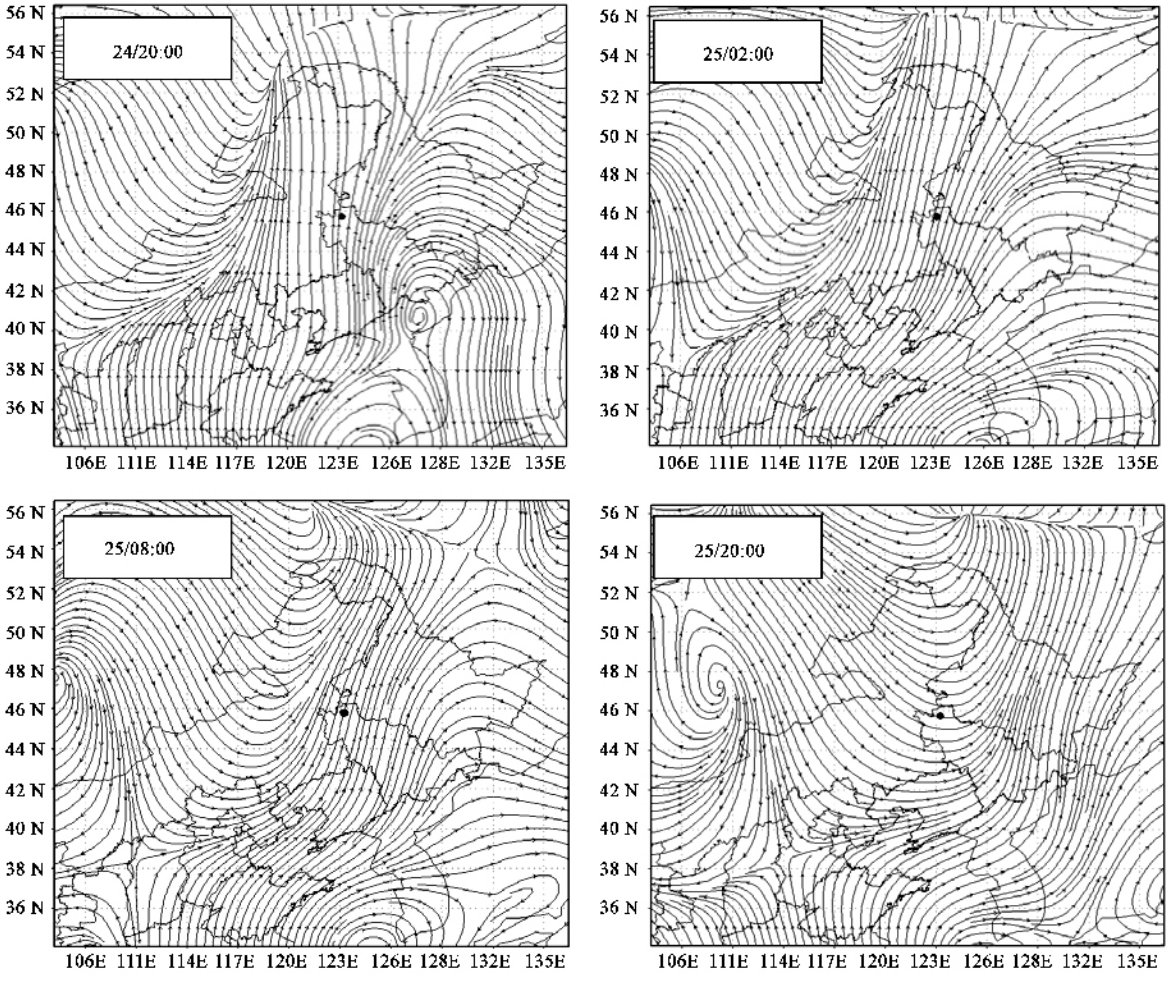

图 4　东北地区 925 hPa **气流分析**(2005 年 5 月 24 日 20∶00－25 日 08∶00,夜间气流演变过程)

Fig.4　Airflow analysis of 925 hPa of Northeast China for air current prosess at 20∶00 on 24 May to 08∶00 on 25 May，2005

图中黑点为雷达观测点。The black dot in above maps shows the radar station in Zhenlai.

1991；谢令德，1995）。白城地区通榆县和大安市旋幽夜蛾幼虫危害发生在 6 月上旬，根据此虫各虫态历期，化蛹期应出现在 5 月中旬。根据 1980－2002 年 5 月中旬 20 cm 的平均地温分析和旋幽夜蛾的蛹期发育最低起点温度，以 10.6℃为分界线，把全国分为越冬代旋幽夜蛾羽化区和非羽化区（图 5），结果显示：整个东北地区、内蒙的中东部，山西、河北、陕西、新疆北部和青海的大部，5 月中旬 20 cm 的平均地温都不能满足旋幽夜蛾越冬代蛹的成功羽化。旋幽夜蛾暴发地点吉林省白城地区，20 cm 的平均地温基本都在 9℃以下，低于越冬代蛹羽化的最低起点温度 10.6℃。分析判断，2005 年 6 月上旬白城地区暴发的旋幽夜蛾为本地虫源的可能性不大，而可能是来自于某个越冬地带。

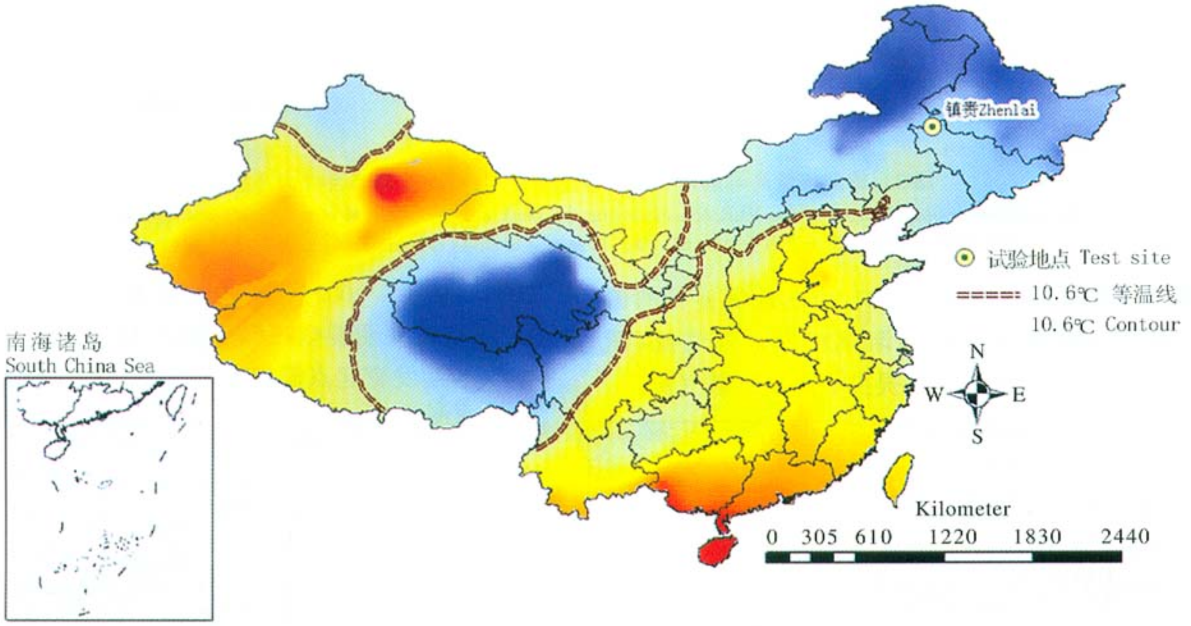

图 5 1980－2002 年 5 月中旬全国 20 cm 平均地温分析

Fig. 5 Average soil temperature at 20 cm beneath soil in the middle ten days of May, 1980－2002 in China

地图来源为国家基础地理信息中心，比例为 1∶250 000。资料最后更新日期为 1997 年底。

The geographical data produced by National Geomatics Center of China (NGCC) with the scale of 1∶250 000.

The last version of data was updated by the end of 1997.

3 讨论

3.1 2005 年东北地区旋幽夜蛾的暴发非本地虫源

吉林省白城地区旋幽夜蛾的发生时间与甘肃和内蒙的中西部发生期基本一致（赵占江等，1991；孙治华和赵素珍，1995；于江南等，2001）。5 月中、下旬为成虫发生盛期，6 月上旬为 1 代幼虫危害期。但从历年 20 cm 的平均地温分析，5 月中旬白城以及整个东北地区的地温都不能满足越冬代蛹羽化的最低温度，虽然全球气温有变暖趋势，但据吉林省气象台报道：受高空冷涡和冷空气影响，5 月 6－24 日全省出现阶段性低温，居历史同期低温的第 2 位。白城地区气温与常年平均气温相比偏低 0.2～0.9℃，因此，2005 年 5 月中旬地温应不高于 1980－2002 年的平均地温，此次暴发虫源不可能是当地越冬虫源。据当地历史资料记载，旋幽夜蛾在吉林省未发现过有发生为害记载（安丽芬和战继春，2005），即不可能有大批越冬虫源基数。2005 年 5 月下旬大区气流分析，偏南风比较盛行，为昆虫迁飞提供了有利的运载气流。可以初步判断，2005 年吉林省白城地区旋幽夜蛾一代幼虫的暴发是本地虫源的可能性不大，而是由越冬代地区成虫随气流迁飞而致。

3.2 旋幽夜蛾具有典型的迁飞昆虫特征

雷达观测场高空探照灯诱集到大量旋幽夜蛾成虫在 6 月底和 7 月初，但试验地点吉林省镇赉县田间调查，当地并未发现大量成虫，地面灯晚于高空探照灯 1 天，虫量一直不大，因此探照灯内诱集到的大量旋幽夜蛾成虫应为高空飞行的昆虫，而不是镇赉县本地虫源，根据旋幽夜蛾在白城地区通榆县和大安市幼虫暴发时间和生活周期，应为暴发地第 1 代成虫向外迁出。高峰期内雌蛾卵巢发育进度整齐，发育级别较低，连续几天卵巢发育级别并没有显著的差异。田间幼虫食性较杂，能迁移危害（安丽芬和

战继春，2005)。雷达回波点的变化与高空探照灯诱集到的昆虫数量具有很高的一致性，进一步证明雷达监测到的目标昆虫为旋幽夜蛾，飞行高度主要集中在 500 m，飞行时间可以整夜持续飞行。上面几种现象表明旋幽夜蛾成虫和幼虫都具有典型的迁飞昆虫生理特征。

3.3 垂直监测昆虫雷观测旋幽夜蛾迁飞的可行性分析

3.2 cm 波长的雷达回波对体长 10 mm 的昆虫监测范围可以达到 1 000 m(Chapman *et al*.，2002)，旋幽夜蛾成虫体长 15 ~ 19 mm(于江南等，2001)，足以产生明显的雷达回波。垂直监测昆虫雷达和相关辅助设备自组建成功以来连续开展了 3 年的雷达观测，已经监测到典型的迁飞性昆虫主要有草地螟、粘虫、棉铃虫、步甲等。国内利用扫描昆虫雷达对粘虫、草地螟、棉铃虫、天敌昆虫蜻蜓的迁飞也进行了一定的研究（吴孔明等，2001；Feng *et al*.，2003，2004a，2004b，2005，2006)。国外利用昆虫雷达在研究昆虫迁飞、迁飞与大气边界层(Reynolds *et al*.，2005)的关系方面都取得了一定的研究成果。随着信息技术的发展，尤其是数据采集的自动化(Cheng *et al*.，2002，2005)，使垂直监测昆虫雷达逐渐走向自动化和网络化(Drake *et al*.，2002)，雷达监测技术也逐渐走向成熟。本次雷达观测旋幽夜蛾成虫的雷达回波具有典型的迁飞昆虫飞行特征，雷达观测结果为研究旋幽夜蛾的飞行高度、时间和数量提供了科学依据。

本次试验只是对旋幽夜蛾迁飞的一个探讨，虽然没有直接监测到越冬代旋幽夜蛾的迁飞过程，但对第 1 代成虫的飞行高度、时间、数量进行了完整的观测，并通过气温和气流分析了 6 月上旬白城地区一代幼虫的暴发非本地虫源。下一步准备利用飞行磨测定旋幽夜蛾成虫的飞行能力和持续飞行时间，通过雷达观测昆虫飞行的高度、时间，结合气流进行轨迹分析，进一步分析虫源地和迁飞轨迹。

致谢 感谢吉林省镇赉县植保植检站王然峰站长的大力支持，感谢河南农业大学 02 级本科实习生丁珂、陈豪对本研究给予的帮助。

参 考 文 献 (References)

An LF，Zhan JC，2005. Outbreak and damage of clover cutworm in Baicheng zone for the first time. *China Plant Protection*，25(8)：38. [安丽芬，战继春，2005. 旋幽夜蛾在白城市首次大面积暴发为害. 中国植保导刊，25(8)：38]

Cao M，Lu JH，1963. A new pest of sugarbeet in Shihezi zones. *Journal of Xinjiang Agricultural Sciences*，(8)：324. [曹慢，吕金海，1963. 石河子地区甜菜的新害虫. 新疆农业科学，(8)：324]

Chapman JW，Reynolds DR，Smith AD，2003. Vertical-looking radar：a new tool for monitoring high-altitude insect migration. *Bioscience*，53：503 – 511.

Chapman JW，Smith AD，Woiwod IP，Reynolds DR，Riley JR，2002. Development of vertical-looking radar technology for monitoring insect migration. *Computers and Electronics in Agriculture*，35：95 – 110.

Cheng DF，Feng HQ，Wu KM，2005. Scanning Entomological Radar and Radar Observation for Insect Migration. Beijing：Science Press. 12 – 15. [程登发，封洪强，吴孔明，2005. 扫描昆虫雷达与昆虫迁飞监测. 北京：科学出版社. 12 – 15]

Cheng DF，Wu KM，Tian Z，Wen LP，Shen ZR，2002. Acquisition and analysis of migration data from the digitized display of a scanning entomological radar. ELSEVIER：*Computers and Electronics in Agriculture*，35：63 – 75.

Drake VA，Wang HK，Harman IT，2002. Insect monitoring radar：remote and network operation. *Computers and Electronics in Agriculture*，35：77 – 94.

Feng HQ，Wu KM，Cheng DF，Guo YY，2003. Radar observations of the autumn migration of the beet armyworm *Spodoptera exigua* (Lepidoptera：Noctuidae) and other moths in northern China. *Bulletin of Entomological Research*，93：115 – 124.

Feng HQ，Wu KM，Cheng DF，Guo YY，2004a. Spring migration and summer dispersal of *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera：Pyralidae) and other insects observed with radar in northern China. *Environmental Entomology*，33：1 253 – 1 265.

Feng HQ，Wu KM，Cheng DF，Guo YY，2004b. Northward migration of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera：Noctuidae) and other moths in early summer observed with radar in northern China. *Journal of Economic Entomology*，97：1 874 – 1 883.

Feng HQ，Wu KM，Ni YX，Cheng DF，Guo YY，2005. Return migration of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera：Noctuidae) during autumn in northern China. *Bulletin of Entomological Research*，95：361 – 370.

Feng HQ，Wu KM，Ni YX，Cheng DF，Guo YY，2006. Nocturnal migration of dragonflies over the Bohai Sea in northern China. *Ecological Entomology*，31：511 – 520.

Jing SQ，Jiang LP，Zhao SP，Wu XH，Xue SH，Jiang GH，Yang XW，An JJ，2001. Occurrence regularity and control techniques of clover cutworm. *China Beet & Sugar*，(2)：39 – 40. [井双泉，蒋丽萍，赵生普，吴新和，薛穗花，姜根红，杨丛伟，安继江，2001. 三叶草夜蛾的发生规律与防治. 中国甜菜糖业，(2)：39 – 40]

Li Z，Qi CL，Sun WC，1993. Physical Geography of Northeastern Part of China. Beijing：Higher Education Press. 68 – 71. [李祯，祁承留，孙文昌，1993. 东北地区自然地理. 北京：高等教育出版社. 68 – 71]

Ma ZC，Meng YR，1983. A preliminary study on clover cutworm. Xinjiang Farmland Science & Technology，(6)：38 – 39. [马自昌，蒙延荣，1983. 三叶草夜蛾研究初报. 新疆农垦科技，(6)：38 – 39]

Reynolds DR，Chapman JW，Edwards AS，Smith AD，Wood CR，Barlow

JF, 2005. Radar studies of the vertical distribution of insects migrating over southern Britain: the influence of temperature inversions on nocturnal layer concentrations. *Bulletin of Entomological Research*, 95: 259 – 274.

Smith AD, Reynolds DR, Riley JR, 2000. The use of vertical-looking radar to continuously monitor the insect fauna flying at altitude over southern England. *Bulletin of Entomological Research*, 90: 265 – 277.

Sun ZH, Zhao SZ, 1995. Occurrence of clover cutworm and its control. *Journal of Neimenggu Science & Technology*, 2: 23 – 24. [孙治华, 赵素珍, 1995. 旋幽夜蛾的发生及防治. 内蒙古农业科技, 2: 23 – 24]

Wu KM, Cheng DF, Xu G, Zhai BP, Guo YY, 2001. Radar observation of autumn migration of insects in Northern China. *Acta Ecologica Sinica*, 21(11): 1 833 – 1 838. [吴孔明, 程登发, 徐广, 翟保平, 郭予元, 2001. 华北地区昆虫迁飞的雷达观测. 生态学报, 21(11): 1 833 – 1 838]

Xie LD, 1995. A study on the cold hardness of egg of *Scotogramma trifolii* Rottemberg. *Journal of Qinghai University*, 13(3): 32 – 36. [谢令德, 1995. 旋幽夜蛾卵期耐寒性研究. 青海大学学报, 13(3): 32 – 36]

Yu JN, Zhou XH, Ma YP, 1997. A study of *Scotogramma trifolii* R. and its control. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 20(4): 70 – 72. [于江南, 周晓华, 马野平, 1997. 旋幽夜蛾在棉田的发生与防治. 新疆农业大学学报, 20(4): 70 – 72]

Zhang YH, Cheng DF, Jiang B, Chen L, Qiao HB, 2006. Vertical-looking radar and its application. In: Cheng ZM ed. Science and Technology Innovation and Protection of the Unpolluted Plant. Beijing: China Agricultural Scientech & Technology Press. 642 – 646. [张云慧, 程登发, 蒋斌, 陈林, 乔红波, 2006. 垂直监测昆虫雷达及应用技术. 见: 成卓敏 主编. 科技创新与绿色植保. 北京: 中国农业科学技术出版社. 642 – 646]

Zhao ZJ, Chen EX, Zhang Y, 1992. Studies on the biological characteristic of *Scotogramma trifolii* R. and its control. *Sugar Crops of China*, (4): 25 – 28. [赵占江, 陈恩祥, 张毅, 1992. 旋幽夜蛾生物学特性与防治研究. 中国甜菜, (4): 25 – 28]

Zhao ZJ, Zhang Y, Chen EX, 1991. Study on thermal constant of *Scotogramma trifolii* R. *Entomological Knowledge*, 28(2): 88 – 91. [赵占江, 张毅, 陈恩祥, 1991. 旋幽夜蛾有效积温的研究. 昆虫知识, 28(2): 88 – 91]

（责任编辑：袁德成）